

УДК 621.923:621.90.17

Н.И. Покинтелица, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: tm@sevntu.com.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ

Представлены результаты исследований температуры в зоне контакта инструмента и заготовки при термофрикционной обработке сталей режущими дисками, что дает возможность прогнозировать структуру поверхностного слоя и получать обработанные поверхности заданного качества.

Ключевые слова: *термофрикционная обработка, режущий диск, инструмент, температурное поле, скорость, подача, трение, тепловой поток.*

Термофрикционная обработка (ТФО) плоских поверхностей заготовок режущими дисками (РД) сопровождается большим выделением теплоты, которая оказывает существенное влияние, как на производительность процесса, так и на качество обработанной поверхности. Особенно важное значение это имеет при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов, для которых способ ТФО в ряде случаев является единственным возможным.

В работах, посвященных разработке теоретических основ и практической реализации ТФО [1, 3], основное внимание уделялось вопросам исследования закономерностей процесса стружкообразования, рассматривались также кинематика резания, состояние поверхности, энергосиловые параметры и оптимизация режимов резания.

Целью настоящей статьи является аналитическое моделирование температуры в зоне контакта РД и заготовки на основе комплексного исследования особенностей процесса ТФО и определения его физических основ.

Как показали исследования, температура резания при ТФО может достигать 1050...1150 °С. Высокая температура резания разогревает металл в зоне контакта и может изменять в значительной степени условия и режимы резания. Особенно важным является то, что с достижением определенной для каждой марки стали температуры её пределы прочности и упругости начинают резко снижаться, что позволяет повысить производительность обработки за счет увеличения скорости РД и подачи заготовки. Однако из-за отсутствия научно обоснованного метода проектирования технологии ТФО, особенно по выбору оптимальных режимов резания, широкое внедрение этого способа пока сдерживается.

В процессе ТФО максимальная температура находится на поверхности трения, а ее величина зависит от теплопроводности заготовки и инструмента. Уменьшение доли теплоты, переходящей в заготовку при увеличении скорости резания, вызвано изменением соотношения между скоростью резания и скоростью распространения теплоты из зоны деформации. Если скорость резания, т.е. скорость, с которой лезвие РД пересекает тепловой поток, мала, то теплота от источника теплоты беспрепятственно перейдет в стружку и заготовку. По мере увеличения скорости резания режущий клин диска все быстрее пересекает тепловой поток. Поэтому меньшее количество теплоты успевает перейти в стружку и заготовку и все большее количество теплоты остается в диске.

Увеличение глубины резания и подачи сопровождается уменьшением средней температуры стружки. При увеличении же скорости резания средняя температура стружки вначале интенсивно возрастает, а затем, после достижения скорости резания определенного значения, рост температуры почти прекращается, и она мало зависит от дальнейшего увеличения скорости. При этом средняя температура стружки стремится к некоторому пределу, величина которого определяется механическими свойствами обрабатываемого материала, геометрическими параметрами диска, глубиной резания и подачей.

Средняя температура на передней поверхности диска превосходит среднюю температуру стружки. Поскольку температура контакта на передней поверхности лезвия диска приблизительно равна температуре контактной поверхности стружки, то это свидетельствует о том, что температура различных слоев стружки по ее толщине неодинакова и убывает по мере приближения к свободной стороне стружки.

С увеличением скорости резания участок, нагретый до температуры, которая превышает температуру зоны резания, уменьшается и концентрируется в тонком слое металла перед диском. Впереди диска в материале образуется квазистационарное температурное поле; теплота при этом не имеет возможности распространяться на значительное расстояние, диск словно «догоняет» наиболее нагретую зону и удаляет ее при резании. Изменяя частоту вращения РД и скорость подачи заготовок можно регулировать интенсивность нагрева зоны резания.

При этом теплота выделяется в зоне деформации и переходит к соседним областям металла. Процесс приближается к изотермическому – в металле снижается предел прочности и усиливается адиабатический нагрев.

Степень нагрева зависит от физико-механических свойств металлов. Чем больше твердость и чем меньше температуропроводность, тем ниже абсолютные значения скоростей начала адиабатического процесса. Поэтому высокоскоростное термофрикционное резание (ТФР) жаропрочных металлов, которые имеют низкую температуропроводность и высокую твердость, происходит в наиболее выгодных условиях.

При резании металла дисками основную теплообразующую функцию выполняет процесс трения. При изменении режимов резания изменяются условия трения между инструментом, стружкой и заготовкой вследствие изменения скорости скольжения и температуры трущихся поверхностей, что приводит к изменению механических свойств металла срезаемого слоя.

Известно, что процесс теплопередачи в неподвижной твердой среде осуществляется за счет теплопроводности и описывается уравнением [2]

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Однако при проведении технологических операций ТФР металлов приходится иметь дело с подвижным источником теплоты. В данном случае перенос теплоты будет осуществляться не только за счет теплопроводности, но и за счет движения самой нагретой заготовки.

При наличии движения теплового источника необходимо систему координат связать с движущимся источником. При совмещении оси Z с направлением движения теплового источника дифференциальное уравнение теплопроводности (1) запишется в виде [2]

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right) + V \frac{d\Theta}{dz}, \quad (2)$$

где V – скорость перемещения теплового источника, м/с; C – удельная теплоемкость, Дж/кг·К; γ – плотность, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Для решения теплофизических задач в процессах ТФР металлов применен метод источников (метод Грина), суть которого заключается в том, что если известен закон изменения температуры $\Theta(x, y, z, t)$ в точке $B(x, y, z)$ теплопроводящего пространства от источника теплоты, помещенного в точку $A(x', y', z')$, выделившего количество теплоты Q в момент времени t' , то температура в точке $B(x, y, z)$ от системы распределенных в пространстве источников определяется суперпозицией из температурных полей. Решение задачи сводится к определению функции $\Theta(x, y, z, t)$ от источника теплоты Q (функция Грина). Для того чтобы решение $\Theta(x, y, z, t)$ являлось единственным решением поставленной задачи, оно должно одновременно удовлетворять некоторым начальным и граничным условиям.

Начальное условие $\Theta = \Theta(x, y, z, t_0)$ определяет распределение температуры внутри исследуемой области в начальный момент времени.

Граничные условия в теории теплопроводности разделяют на четыре вида.

Граничные условия первого рода задают распределение температуры на границе области в любой момент времени, т.е. $\Theta(x_S, y_S, z_S, t) = \varphi(t, S)$.

Граничное условие второго рода задает плотность теплового потока для каждой точки теплового пространства в любой момент времени, т.е. $q(x_S, y_S, z_S, t)$.

Граничное условие третьего рода задает теплообмен на границе области с окружающей средой, который может быть задан в форме закона Ньютона-Рихмана

$$q = \alpha(\Theta_O - \Theta_C) \quad \alpha(\Theta_O - \Theta_C) + \lambda \frac{\partial \Theta}{\partial n} \Big|_S = 0,$$

где Θ_O – температура поверхности заготовки; Θ_C – температура окружающей среды; α – коэффициент теплообмена, зависящий от свойств материала заготовки, среды и температуры.

Граничные условия четвертого рода выражают равенство тепловых потоков на границе раздела двух теплопроводящих сред и записываются в виде равенства

$$-\lambda_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial x} \Big|_S = \lambda_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} \Big|_S.$$

Распределение тепловых источников в пространстве, время их действия и движения учитываются интегрированием.

Фундаментальным решением уравнения теплопроводности (2) является функция источника с непрерывно изменяющейся координатой z' по закону $(z' - Vt)$.

Известно, что если в n -мерном пространстве в точке A с координатами $x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_n$ в момент времени t' выделилось количество теплоты Q , то температура тела в точке B с координатами $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ в момент времени $(t > t'_n)$ описывается функцией [2]

$$\Theta(x_1, x_2, \dots, x_n, x'_1, x'_2, \dots, x'_n, t, t') = \frac{Q}{C\gamma\sqrt{4\pi a_1(t-t')}} \cdot \exp\left\{-\frac{R^2}{4a_1(t-t')}\right\}, \quad (3)$$

где a_1 – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; R^2 – квадрат расстояния между точками A и B , причем

$$R^2 = (x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_n - x'_n)^2.$$

Функция (3) является решением фундаментального уравнения теплопроводности (2). На основании данного решения можно записать функцию Грина для различных условий задачи.

Как известно, параметры качества поверхностного слоя (глубина и степень наклепа, величина и знак остаточных напряжений) в значительной степени зависят от теплового фактора. Если режимы резания и другие условия обработки изменятся таким образом, что количество теплоты, генерируемой в зоне резания, возрастает, то следует ожидать уменьшения степени и глубины наклепанного слоя. Поэтому определение температуры в зоне резания при ТФО представляет научный интерес.

Согласно результатам экспериментальных исследований уже через 1 с после начала процесса в некоторых точках фрикционного контакта температура достигала 1000-1100 °С. Причем в конце образца (точка В) (рисунок 1) температура была приблизительно в 1,3 раза выше, чем в начале образца (точка А).

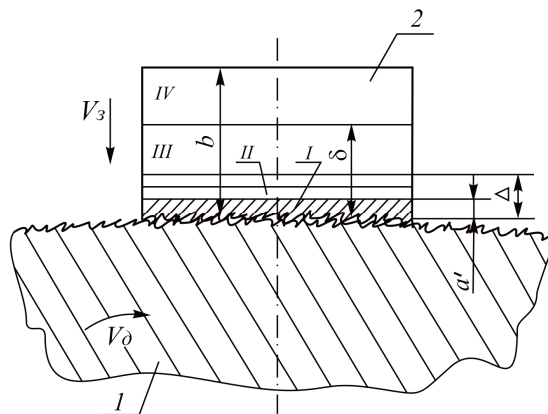


Рисунок 1 – Схема взаимодействия заготовки 2 с передней поверхностью режущего диска 1

В заготовке по ее длине наблюдается четыре участка. Слой I толщиной a' , который соответствует абсолютной величине сближения поверхностей контакта РД и заготовки, и воспринимающий максимальную нагрузку. В данном слое происходит формирование фактической площади контакта. Участок II толщиной Δ соответствует глубине пластически деформируемого поверхностного слоя. В обозначенном участке происходят процессы теплообразования, связанные с затратами энергии на передоформирование поверхностных слоев заготовки и преодоление сил молекулярного взаимодействия в зоне контакта. Участок III толщиной δ относится к эффективной зоне, участвующей в теплопоглощении. Участок IV размером $(b - \delta)$ представляет собой зону, температура которой близка к начальной.

На рисунке 2 приведена расчетная схема определения температуры в зоне резания при обработке плоскости РД.

Движущийся источник теплоты представлен в форме прямого угла OAB .

$\Theta_1(x, y)$ – тепловое поле, создаваемое отрезком OA .

$\Theta_2(x, y)$ – тепловое поле, создаваемое отрезком AB .

Тогда

$$\Theta_1(x, y) = \int_0^a \int_0^t d\Theta_1.$$

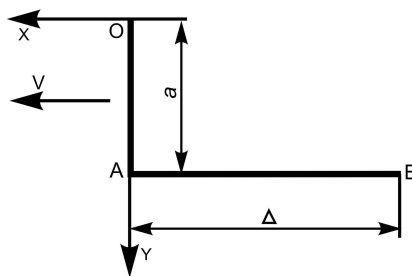


Рисунок 2 – Расчетная схема определения температуры при ТФО

На отрезках OA и AB должны выполняться граничные условия четвертого рода

$$-\lambda_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial x} \Big|_{OA} = \lambda_2 \frac{\partial \Theta'_1}{\partial x} \Big|_{OA},$$

где λ_1 – теплопроводность материала заготовки; λ_2 – теплопроводность материала РД; Θ'_1 – тепловое поле, создаваемое отрезком OA в инструменте.

Аналогично

$$-\lambda_1 \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} \Big|_{AB} = \lambda_2 \frac{\partial \Theta'_2}{\partial x} \Big|_{AB}.$$

На луче OX задан закон конвективного теплообмена между поверхностью заготовки и окружающей средой (граничное условие третьего рода)

$$\alpha(\Theta_O - \Theta_C) + \lambda \frac{\partial \Theta}{\partial y} \Big|_{OX} = -q(x, t).$$

Тогда

$$d\Theta_1(x, y) = \frac{q dy' dt'}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \left\{ \exp\left\{-\frac{[x+V(t-t')]^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')}\right\} + \exp\left\{\frac{[x+V(t-t')]^2 + (y+y')^2}{4a_1(t-t')}\right\} \right\};$$

$$\Theta_1(x, y) = \int_0^a \int_0^t d\Theta_1 + \int_0^a f(y') dy' + C_1.$$

Здесь $f(y')$ – функция лишь одной переменной, а C_1 – константа интегрирования.

Обычно задачи с граничными условиями четвертого рода решаются только численными методами.

Произведем расчет интеграла с заменой переменных.

$$\begin{aligned} & \int_0^t \frac{q}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[x+V(t-t')]^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \frac{q}{C\gamma 4\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times \\ & \times \int_0^t \frac{\exp\left[\frac{x^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')} - \frac{V^2(t-t')^2}{4a_1}\right]}{t-t'} dt' = \left\{ \frac{x^2 + (y-y')^2}{4a_1(t-t')} = u^2 \right\} = \frac{q[x^2 + (y-y')^2]}{8C\gamma \pi a_1^2} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times \\ & \times \int_0^t \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2}{16a_1^2} \cdot \frac{x^2 + (y-y')^2}{u^2}\right]}{u \frac{x^2 + (y-y')^2}{4a_1}} du = \frac{q}{2C\gamma \pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times \\ & \times \int_0^t \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2 + (y-y')^2)}{16a_1^2 u^2}\right]}{u \sqrt{\frac{x^2 + (y-y')^2}{4a_1 t}}} du. \end{aligned}$$

$$\int_0^t \frac{q}{C\gamma 4\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[x+V(t-t')]^2 + (y+y')^2}{4a_1(t-t')}\right\} dt' = \frac{q}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times$$

$$\times \int_{\sqrt{\frac{x^2+(y+y')^2}{4a_1t}}}^{\infty} \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2+(y+y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]}{u} du.$$

$$\int_0^t d\Theta_1 = \frac{qdy'}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \left\{ \int_{\sqrt{\frac{x^2+(y-y')^2}{4a_1t}}}^{\infty} \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2+(y-y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]}{u} du + \right.$$

$$\left. + \int_{\sqrt{\frac{x^2+(y+y')^2}{4a_1t}}}^{\infty} \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2+(y+y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]}{u} du \right\}.$$

При $t \rightarrow +\infty \Rightarrow$

$$\int_0^{\infty} d\Theta_1 = \frac{qdy'}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times \int_0^{\infty} \frac{\exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2+(y-y')^2)}{16a_1^2u^2}\right] + \exp\left[-u^2 - \frac{V^2(x^2+(y+y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]}{u} du.$$

Введем обозначение

$$K_0(m) = \int_0^{\infty} \frac{dz}{z} \exp\left[-\left(z^2 + \frac{m^2}{4z^2}\right)\right].$$

Тогда

$$\int_0^{\infty} \frac{\exp\left[-\left[-u^2 + \frac{V^2(x^2+(y-y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]\right]}{u} du = K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y-y')^2}\right].$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\exp\left[-\left[-u^2 + \frac{V^2(x^2+(y+y')^2)}{16a_1^2u^2}\right]\right]}{u} du = K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y+y')^2}\right].$$

$$\int_0^a \int_0^{\infty} d\Theta_1 = \frac{q}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \int_0^a \left\{ K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y-y')^2}\right] + K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y+y')^2}\right] \right\} dy'.$$

$$\Theta_1 = \frac{q}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \int_0^a \left\{ K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y-y')^2}\right] + K_0\left[\frac{V}{2a_1}\sqrt{x^2+(y+y')^2}\right] \right\} dy'.$$

$$d\Theta_2 = \frac{qdx'dt}{4C\gamma\pi a_1(t-t')} \cdot \exp\left\{-\frac{[(x-x')+V(t-t')]^2 + (y-a)^2}{4a_1(t-t')}\right\}.$$

$$\Theta_2 = \int_{-\Delta}^0 \int_0^t d\Theta_2 + \int_{-\Delta}^0 g(x')dx' + C_2.$$

Здесь $g(x')$ – функция лишь одной переменной, а C_2 – константа интегрирования.

Вычислим интеграл

$$\begin{aligned}
 \int_0^t d\Theta_2 &= \frac{q dx'}{4C\gamma\pi a_1} \int_0^t \frac{\exp\left\{-\frac{[(x-x') + V(t-t')]^2 + (y-a)^2}{4a_1(t-t')}\right\}}{t-t'} dt' = \\
 &= \frac{q dx'}{4C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V}{2a_1}\right\} \int_0^t \frac{\exp\left[-\frac{(x-x')^2 + (y-a)^2}{4a_1(t-t')} - \frac{V^2(t-t')^2}{4a_1}\right]}{t-t'} dt' = \\
 &= \left\{ \frac{(x-x')^2 + (y-a)^2}{4a_1(t-t')} = u^2, \frac{1}{t-t'} = \frac{4a_1 u^2}{(x-x')^2 + (y-a)^2} \right\} = \\
 &= \left\{ dt' = \frac{(x-x')^2 + (y-a)^2}{2a_1} \cdot \frac{du}{u^3} \right\} = \\
 &= \frac{q dx'}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V}{2a_1}\right\} \times \int_{\sqrt{\frac{(x-x')^2 + (y-a)^2}{4a_1 t}}}^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V^2[(x-x')^2 + (y-a)^2]}{16a_1^2 u^2}\right\}}{u} du.
 \end{aligned}$$

При $t \rightarrow +\infty$

$$\begin{aligned}
 \int_0^{\infty} d\Theta_2 &= \frac{q dx_1}{2C\gamma\pi a_1} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-x')V}{2a_1}\right\} \int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V^2[(x-x')^2 + (y-a)^2]}{16a_1^2 u^2}\right\}}{u} du. \\
 \Theta_2 &= \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{-\Delta}^0 \exp\left\{-\frac{(x-x')V}{2a_1}\right\} \cdot \left(\int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V^2[(x-x')^2 + (y-a)^2]}{16a_1^2 u^2}\right\}}{u} du \right) dx'. \\
 \frac{1}{2u} &= \varsigma \Rightarrow \int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-u^2 - \frac{V^2[(x-x')^2 + (y-a)^2]}{16a_1^2 u^2}\right\}}{u} du = \\
 &= \int_0^{\infty} \frac{\exp\left\{-\frac{1}{4\varsigma^2} - \frac{V^2[(x-x')^2 + (y-a)^2]}{4a_1^2 \varsigma^2}\right\} \varsigma^2}{\varsigma} d\varsigma = K_0 \left[\frac{V}{2a_1} \sqrt{(x-x')^2 + (y-a)^2} \right]. \\
 \Theta_2 &= \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{-\Delta}^0 \exp\left[-\frac{x-x'}{2a_1} V\right] \cdot K_0 \left[\frac{V}{2a_1} \sqrt{(x-x')^2 + (y-a)^2} \right] dx'.
 \end{aligned}$$

Окончательно имеем

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \Theta_1 + \Theta_2 = \frac{q}{2\pi\lambda} \cdot \exp\left\{-\frac{xV}{2a_1}\right\} \times \left\{ \int_0^a \left[K_0 \left[\frac{V}{2a_1} \sqrt{x^2 + (y-y')^2} \right] + K_0 \left[\frac{V}{2a_1} \sqrt{x^2 + (y+y')^2} \right] \right\} dy' + \\
 &+ \int_{-\Delta}^0 \exp\left\{\frac{x'V}{2a_1}\right\} \cdot K_0 \left[\frac{V}{2a_1} \sqrt{(x-x')^2 + (y-a)^2} \right] dx' \Bigg\} + \int_0^a f(y') dy' + C_1 + \int_{-\Delta}^0 g(x') dx' + C_2.
 \end{aligned}$$

Функции $f(y')$, $g(x')$ и константы C_1, C_2 определяются граничными и начальными условиями.

Расчет температурного поля при ТФО заготовок из исследуемых марок сталей проводился при следующих значениях параметров, определяющих процесс:

$V_d = 52$ м/с, $V = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м/с, $a = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м, $B = 78,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Сталь 45: $q = 55 \cdot 10^6$ Вт/м², $C = 640$ Дж/(кг·град), $\gamma = 7850$ кг/м³, $a_1 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

Сталь 12X13: $q = 124 \cdot 10^6$ Вт/м², $C = 547$ Дж/(кг·град), $\gamma = 7600$ кг/м³, $a_1 = 7,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

По данным расчетов построены температурные поля для стали 45 (рисунок 3), имеющей максимальный коэффициент температуропроводности из исследуемых сталей ($a_1 = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), и стали 12Х13 (рисунок 4), имеющей один из минимальных коэффициентов температуропроводности ($a_1 = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Изучение температурных полей показывает, что вследствие низкой теплопроводности коррозионностойких сталей в зоне резания и стружке наблюдается локализация теплоты, что увеличивает степень размягчения и разупрочнения металла.

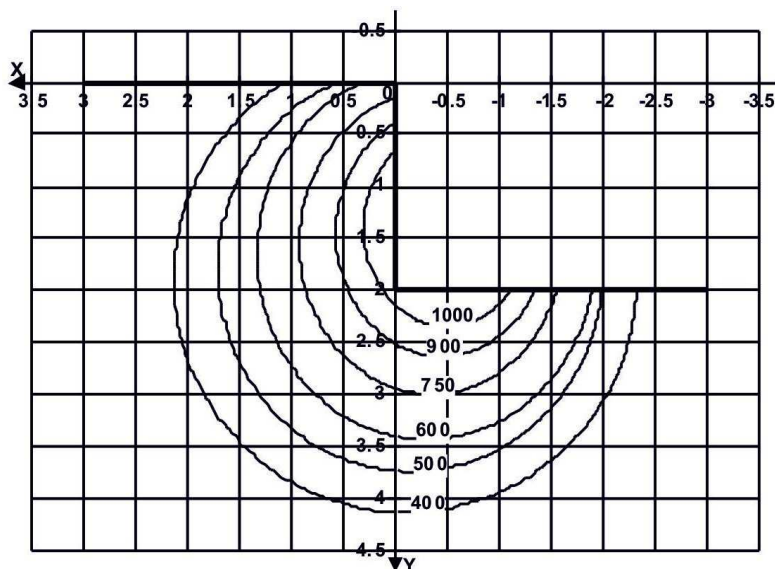


Рисунок 3 – Температурное поле в срезанном слое и заготовке из стали 45:
 $a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $B = 78,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $V_d = 52 \text{ м/с}$; $V = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$

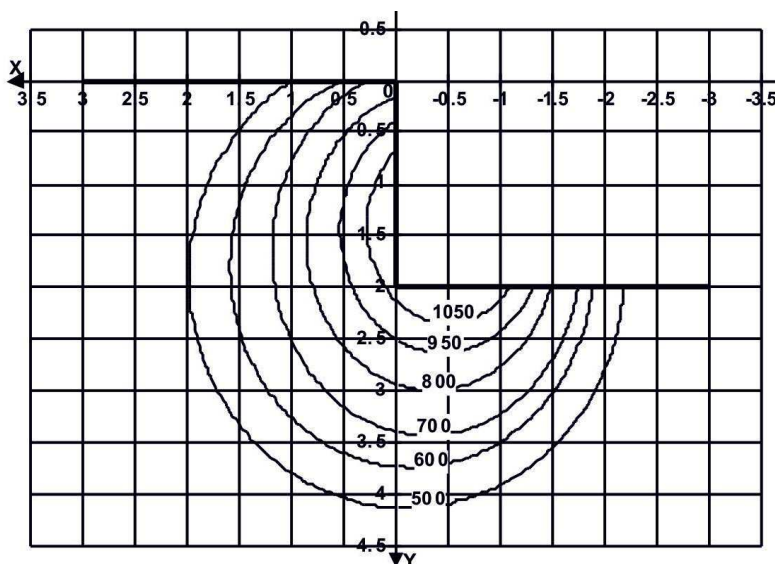


Рисунок 4 – Температурное поле в срезанном слое и заготовке из стали 12Х13:
 $a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $B = 78,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $V_d = 52 \text{ м/с}$; $V = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$

Приведенные формулы позволяют определять температуру в зоне резания при ТФО плоскостей, что дает возможность прогнозировать структуру поверхностного слоя после обработки диском и получать обработанные поверхности заданного качества.

Перспективным направлением исследований в данной области является определение закономерностей изменения температуры в зоне резания в зависимости от режимов обработки и сочетания материалов контактирующих пар (инструмента и заготовки).

Библиографический список использованной литературы

1. Зарубицкий Е.У. Разработка и исследование процесса эффективности термофрикционной обработки металлов / Е.У. Зарубицкий. — Киев: ВИПОЛ, 1993. — 76 с.
2. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. — Киев—Одесса: Лыбидь, 1991. — 240 с.
3. Покинтелица Н.И. Пластическое деформирование и температура в зоне резания при термофрикционной обработке материалов / Н.И. Покинтелица, В.А. Плахотник // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр. — Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2003. — Ч. 1. — С. 196–201.

Поступила в редакцию 11.04.2011 г.

Покінтелиця М.І. Моделювання температури у зоні різання при термофрикційній обробці сталей

У статті представлені результати досліджень температури у зоні контакту інструменту та заготовки при термофрикційній обробці сталей різальними дисками, що дає можливість прогнозувати структуру поверхневого шару та отримувати поверхні заданої якості.

Ключові слова: термофрикційна обробка, різальний диск, інструмент, температурне поле, швидкість, подача, тертя, тепловий потік.

Pokintelitsa N.I. Analytical modeling of temperature in the area of cutting at the thermofrictional treatment of steels

The article presents the research results of the temperature in the area of contact of the instrument and a part at the thermofrictional treatment of steels by cuttings disks, that enables to forecast the structure of the surface layer and to get the treated surfaces of the set quality.

Keywords: thermofrictional treatment, cutting disk, instrument, temperature field, speed, serve, friction, thermal stream.